



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

## **ANALISA KEANDALAN SISTEM TRANSMISI 150KV WILAYAH BALI DENGAN METODE MONTE CARLO**

Rizky Oktavian  
2215 105 044

Dosen Pembimbing  
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.  
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TE 141599**

**ANALYSIS OF POWER SYSTEM RELIABILITY IN BALI  
REGION 150KV POWER SYSTEM USING MONTE CARLO  
METHOD**

Rizky Oktavian  
2215 105 044

Advisors

Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Electrical Technology  
Insitut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "*Analisa Keandalan Sistem Transmisi 150KV Wilayah Bali dengan metode Monte Carlo*" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap dalam daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2017



Rizky Oktavian  
NRP. 2215 105 044

**ANALISA KEANDALAN SISTEM TRANSMISI 150KV  
WILAYAH BALI DENGAN METODE MONTE CARLO**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**



**Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.**  
**NIP. 197411292000121001**

**Dosen Pembimbing II**



**Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.**  
**NIP : 197007121998021001**



# **ANALISA KEANDALAN SISTEM TRANSMISI 150KV WILAYAH BALI DENGAN METODE MONTE CARLO**

Rizky Oktavian  
2215 105 044

Dosen Pembimbing I : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.  
Dosen Pembimbing II : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

## **Abstrak :**

Pada studi ini akan dibahas mengenai keandalan sistem 150 kV di Wilayah Bali dengan menggunakan metode Monte Carlo untuk mengetahui nilai prediksi LOLP (*Loss Of Load Probability*) terutama untuk memperkirakan dampak dari sifat yang tidak pasti pada FOR (*Forced Outage Rate*) dari generator pada pembangkit di wilayah Bali. Metode Monte Carlo adalah metode yang pembangkitan nilai acak dari kombinasi beberapa unit pembangkit dalam mensuplai kebutuhan beban yang fluktuatif. Dari hasil simulasi menggunakan matlab diperoleh bahwa nilai prediksi LOLP dari sistem 150 kV di Wilayah Bali adalah 0,6699 hari/tahun. Nilai prediksi ini belum memenuhi standar internasional 0,25 hari/tahun, serta sudah memenuhi standar PLN yaitu 1 hari/tahun untuk Wilayah Jawa-Bali.

**Kata kunci :** *Forced Outage, Loss Of Load Probability*, dan Metode Monte Carlo

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **ANALYSIS OF POWER SYSTEM RELIABILITY IN BALI REGION 150KV POWER SYSTEM USING MONTE CARLO METHOD**

Rizky Oktavian  
2215 105 044

Advisor I : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.  
Advisor II : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

## **Abstract :**

In this project will be discussed regarding the reliability of 150 kV system in Bali, by using Monte Carlo method to determine the predictive value LOLP (Loss of Load Probability) especially to concern FOR (Forced Outage Rate) from generating unit in Bali. Monte Carlo method is a method that generate random value the accumulation of a combination several generating units to supply the needs of load fluctuate. From the simulation results obtained that using excel LOLP the predictive value of 150 kV system in Bali is 0,6699 days / year. The predictive value still does not meet international standards of 0.25 days / year, and it's already meet the standards i.e. PLN 1 day / year for the Java-Bali region.

**Keywords :** *Forced Outage, Loss Of Load Probability, and Monte Carlo method*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur alhamdlillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul ***“Analisa Keandalan Sistem Transmisi 150KV Wilayah Bali dengan metode Monte Carlo”***.

Penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan tugas akhir ini mengalami kendala-kendala, namun berkat nasihat, bimbingan, bantuan dari berbagai pihak dan berkah dari Allah SWT sehingga semua kendala yang ada dapat diatasi oleh penulis. Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah melancarkan semua urusan saya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua saya, Bapak Budi Setianto dan Ibu Sri Endah yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, nasehat dan doanya selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing I serta Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan, saran serta bimbingan kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir dan selama perkuliahan di Teknik Elektro.
4. Teman-teman S1 Lintas Jalur 2015 yang selalu memberikan motivasi dan semangat yang sangat besar bagi penulis.
5. GW 25 C Team beserta kakak-kakak yang memfasilitasi logistik
6. Keluarga Bapak Made Suardhana yang telah memberikan akomodasi saat pengambilan data di Bali
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan, yang juga memberikan banyak dukungan selama proses penyelesaian tugas akhir ini.

Dalam menyusun Tugas Akhir ini, penulis berharap semoga nantinya tugas akhir ini bermanfaat jikapun ada kekurangan, saran serta kritik penulis harapkan, terima kasih.

Surabaya, Juni 2017

Rizky Oktavian

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	1
1.3 Batasan Masalah .....	1
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Metodologi.....	2
1.6 Sistematika Pembahasan .....	3
1.7 Relevansi.....	3
<b>BAB II KONSEP KEANDALAN MONTE CARLO .....</b>	<b>5</b>
2.1 Pengertian Keandalan .....	5
2.2 Faktor Keandalan .....	5
2.3 Status Unit Pembangkit.....	6
2.4 Daya Tersedia dalam sistem.....	8
2.5 LOLP ( <i>Loss of load probability</i> ).....	9
2.6 Teori Probabilitas .....	10
2.7 Metode Monte Carlo .....	10
2.7.1 Penerapan Monte Carlo .....	11
2.7.2 Pembangkitan Nilai Acak .....	12
2.7.3 Konsep Monte Carlo.....	13
2.7.4 LOLP dengan Metode Monte Carlo .....	14
2.7.5 Keuntungan Kerugian Metode Monte Carlo.....	16
<b>BAB III SISTEM 150 kV WILAYAH BALI .....</b>	<b>19</b>
3.1 Kelistrikan 150kV Wilayah Bali .....	19
3.2 Pembangkit di Wilayah Bali .....	20
3.3.Jaringan 150kV dari Pulau Jawa.....	21

3.4. Forced Outage Rate (FOR) Pembangkit .....	22
3.5. Beban Sistem 150 kV Bali .....	24
<b>BAB IV SIMULASI DAN ANALISA .....</b>	<b>29</b>
4.1 Data kapasitas Unit Pembangkit .....	30
4.2 Data <i>Forced Outage Rate</i> .....	31
4.3 Monte Carlo Simulation .....	32
4.4 Perhitungan Keandalan Bali Secara Manual .....	35
4.5 Cara Meningkatkan Keandalan Sistem.....	38
4.5.1 Memperkecil Nilai FOR.....	38
4.5.2 Memperbesar Cadangan Daya.....	39
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>41</b>
5.1 Kesimpulan .....	41
5.2 Saran .....	41
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>43</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>45</b>
<b>RIWAYAT HIDUP PENULIS .....</b>	<b>49</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Kesiapan Peralatan Dalam Satu Tahun .....	7
Gambar 2.2	Proses Konvergensi .....	14
Gambar 3.1	Peta kelistrikan Wilayah Bali .....	19
Gambar 3.2	Kurva Beban Harian .....	27
Gambar 4.1	Flowcart Perhitungan LOLP.....	29
Gambar 4.2	LOLP penarikan acak sebanyak 500 kali .....	32
Gambar 4.3	Hasil Plot grafik konvergensi .....	33
Gambar 4.4	LOLP penarikan acak sebanyak 3000 kali .....	34
Gambar 4.5	Hasil Plot grafik konvergensi .....	34
Gambar 4.6	Kurva beban wilayah Bali.....	36

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Rule pembangkit dan Beban .....	16
Tabel 3.1	Pembangkit Thermis yang Terhubung ke Sistem 150kV ...	20
Tabel 3.2	Jaringan 150kV dari Pulau Jawa .....	21
Tabel 3.3	Total pembangkit yang Terhubung ke Sistem 150kV .....	22
Tabel 3.4	Nilai FOR dan 1-FOR Setiap Pembangkit .....	23
Tabel 3.5	Beban 150kV Bali. ....	25
Tabel 4.1	Kapasitas Unit Pembangkit .....	30
Tabel 4.2	Nilai FOR dan 1-FOR .....	31
Tabel 4.3	Perbandingan Sample acak dan LOLP 500 sample .....	33
Tabel 4.4	Perbandingan Sample acak dan LOLP 3000 sample .....	35
Tabel 4.5	Data jenis pembangkit berdasarkan area dan FOR baru ....	36
Tabel 4.6	<i>Individual probabilitly</i> dan LOLP secara manual .....	38

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Setiap unit pembangkit pada sistem tenaga listrik berfungsi untuk menyediakan listrik agar permintaan beban dapat terlayani. Pada waktu unit pembangkit beroperasi dapat mengalami gangguan. Jika gangguan terjadi secara bersamaan pada unit pembangkit yang besar, maka terdapat kemungkinan daya tersedia dalam sistem tenaga listrik berkurang sedemikian besar sehingga sistem tidak mampu melayani beban.

Keadaan pembangkit dalam ketersediaan cadangan daya yang ada serta perubahan beban sepanjang waktu akan mengakibatkan *forced outage*, kondisi ini karena terjadi beban puncak. Nilai dari *Forced outage* dapat diketahui dengan melakukan perhitungan terhadap kemungkinan terjadinya kehilangan beban atau terjadinya pemadaman. Perhitungan ini disebut dengan perhitungan nilai indeks LOLP (*Loss Of Load Probability*) atau probabilitas kehilangan beban.

LOLP (*Loss Of Load Probability*) atau probabilitas kehilangan beban merupakan probabilitas yang menyatakan besar kehilangan beban karena kapasitas pembangkitan yang tersedia (*Availability Capacity*) sama atau kurang dari beban sistem yang dinyatakan dalam hari per tahun. Salah satu cara menghitung nilai LOLP (*Loss Of Load Probability*) untuk menentukan keandalan suatu sistem tenaga listrik menggunakan metode monte carlo. Metode monte carlo adalah metode dengan sampling nilai acak dari akumulasi dari kombinasi beberapa unit pembangkit dalam mensuplai kebutuhan beban yang fluktuatif.

### **1.2 Permasalahan**

Permasalahan yang diselesaikan pada tugas akhir ini adalah perhitungan keandalan sistem 150 kV di wilayah Bali untuk mencari nilai LOLP (*Loss Of Load Probability*) atau probabilitas kehilangan beban dengan menggunakan metode Monte Carlo.

### **1.3 Batasan Masalah**

Melihat ruang lingkup yang luas pada tugas akhir ini maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Faktor *derating* dari setiap pembangkit tidak disertakan.
2. idak dibahas biaya operasi pembangkit.

3. Jaringan 150 kV dari pulau Jawa sudah dianggap sangat handal atau tidak pernah terjadi gangguan. Nilai FOR untuk Jaringan 150 kV dari pulau Jawa sama dengan 0.
4. Indeks keandalan yang digunakan sebagai parameter adalah LOLP (*Loss of load probability*) dan metode perhitungannya hanya menggunakan metode Monte Carlo.

## 1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah mencari nilai LOLP (*Loss Of Load Probability*) pada sistem 150 kV di wilayah Bali dan diharapkan tugas akhir ini dapat dijadikan referensi sebagai penelitian selanjutnya untuk pertimbangan cadangan daya yang tersedia sehingga dapat meningkatkan keandalan pada sistem 150 kV di Wilayah Bali.

## 1.5 Metodologi

Metode dalam pelaksanaan tugas akhir ini dilakukan dengan cara seperti berikut:

1. Studi Literatur  
Literatur yang digunakan berasal dari buku dan jurnal ilmiah. Studi literatur dipelajari teori-teori pendukung seperti keandalan, LOLP, dan metode Monte Carlo.
2. Pengambilan Data  
Pengambilan data berupa data *plant single line diagram*, data kapasitas pembangkit, data gangguan pada unit pembangkit, dan data laporan harian operasi beban dari sistem 150 kV di PLN APB Bali.
3. Pengolahan Data  
Data yang didapatkan kemudian diolah dengan menggabungkan berbagai data yang didapatkan sesuai dengan yang ada dilapangan untuk selanjutnya disederhanakan dan difokuskan pada simulasi sistem.
4. Simulasi  
Membuat simulasi mengenai metode Monte Carlo untuk keandalan sistem 150kV di wilayah Bali dengan memasukkan data yang ada menggunakan Matlab untuk didapatkan nilai dari LOLP
5. Analisa Data  
Dari simulasi yang dilakukan, maka didapatkan hasil yang akan dianalisa. Data yang akan dianalisa adalah nilai LOLP hasil dari simulasi di Matlab.

6. Kesimpulan dan Saran  
Kesimpulan dan saran didapat setelah melakukan analisa data. Selain itu, akan diketahui nilai LOLP pada sistem 150 kV di wilayah Bali.

## **1.6 Sistematika Pembahasan**

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. BAB I  
Pada bab ini diuraikan mengenai latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika pembahasan dan relevansi dari tugas akhir.
2. BAB II  
Pada bab ini berisi materi keandalan menggunakan metode monte carlo yang menunjang pengerjaan tugas akhir. Bab ini meliputi teori tentang keandalan, mencari nilai FOR, teori dan perhitungan nilai LOLP, serta teori dan perhitungan tentang metode monte carlo.
3. BAB III  
Pada bab ini menjelaskan sistem 150kV di Bali yang meliputi jumlah pembangkit yang terhubung pada sistem 150kV. Kemudian mencari data sekunder dari gangguan unit-unit pembangkit berupa nilai FORnya dan data beban untuk sistem 150 kV di wilayah Bali.
4. BAB IV  
Pada bab ini berisi hasil analisa perhitungan dari data-data yang telah didapatkan sebelumnya pada bab III. Setelah itu dijelaskan lebih detail tahapan-tahapannya untuk mencari nilai LOLP menggunakan metode monte carlo di Matlab.
5. BAB V  
Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran berdasarkan hasil analisa perhitungan yang telah dilakukan.

## **1.7 Relevansi**

Dengan didapatkannya hasil dari tugas akhir ini, diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Sebagai acuan untuk mempertimbangan bagi pihak pengembang sistem tenaga listrik tentang cara untuk meningkatkan keandalan sistem 150 kV di Bali.
2. Dapat digunakan untuk refrensi atau rujukan pada penelitian selanjutnya.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB II**

### **KONSEP DASAR KEANDALAN**

#### **2.1 Pengertian Keandalan**

Keandalan merupakan sebuah probabilitas dari suatu peralatan untuk beroperasi seperti yang direncanakan dengan baik dalam selang waktu tertentu dan berada dalam suatu kondisi operasi tertentu. Konsep keandalan terdapat istilah ketersediaan (*availability*) dan ketidaktersediaan (*unavailability*) yang merupakan hasil dari pengamatan dalam selang waktu tertentu terhadap suatu kondisi operasi dalam sistem tenaga. Pengamatan dalam selang waktu tertentu dapat dimisalkan satu tahun.

Ketersediaan (*availability*) ialah perbandingan antara total waktu suatu sistem operasi tenaga listrik dalam selang waktu tertentu ketika beroperasi seperti yang direncanakan dengan baik dan berada dalam kondisi operasi tertentu dengan waktu total pengamatan. Sedangkan Ketidaktersediaan (*unavailability*) merupakan perbandingan antara waktu total sistem tenaga listrik yang tidak beroperasi dengan waktu total pengamatan

Keandalan sistem tenaga listrik menjadi suatu ukuran tingkat pelayanan sistem terhadap pemenuhan kebutuhan energi listrik kepada konsumen.

#### **2.2 Faktor Keandalan**

Tujuan dari sistem tenaga listrik adalah untuk membangkitkan energi listrik yang mengirim dan menyalurkan ke jaringan luas agar dapat dinikmati oleh konsumen. Keandalan sistem tenaga listrik menjadi suatu hal yang penting sebagai kemampuan sistem untuk menjalankan fungsinya dengan baik.

Terdapat empat faktor yang berhubungan dengan keandalan, yaitu probabilitas (kemungkinan), Unjuk Kerja (bekerja sesuai fungsinya), periode waktu dan kondisi operasi, yang dijelaskan sebagai berikut

##### **a. Probabilitas**

Peluang atau probabilitas dipergunakan untuk menentukan secara kuantitatif dari suatu keandalan. Kegagalan ataupun kesuksesan dari suatu peralatan merupakan sesuatu yang dapat ditentukan dari historis peralatan pada masa lalu. Hal ini dapat dilihat dari beban sistem tersebut. Perkiraan beban yang ditentukan dari historis

dimasa lalu dan dengan tambahan perkiraan pertumbuhan beban untuk masa depan

- b. Unjuk Kerja / Bekerja sesuai fungsinya  
Unjuk kerja dari suatu peralatan merupakan kriteria kegagalan dari suatu peralatan dalam melakukan tugasnya. Hal ini ditentukan dari standar-standar tertentu yang telah ditentukan, misalnya variasi tegangan atau variasi frekuensi.
- c. Selang Waktu Pengamatan  
Selang waktu pengamatan adalah total waktu yang diamati pada suatu peralatan atau komponen sistem tenaga. Peninjauan dari sistem tenaga biasanya menggunakan periode satu tahun. Peninjauan-peninjauan yang dilakukan terhadap peralatan dinilai dalam ukuran per tahun dan dianggap berlaku selama satu tahun, meskipun pengambilan datanya dilakukan dalam selang waktu lebih dari satu tahun. Oleh karena itu, perhitungan keandalan dinilai dalam ukuran pertahun.
- d. Kondisi Operasi  
Kondisi operasi adalah kondisi dimana suatu peralatan beroperasi. Kondisi operasi suatu peralatan dapat berbeda-beda. Misalnya suatu generator beroperasi dibawah kondisi operasi tegangan lebih, atau suatu peralatan listrik pasangan luar untuk meningkatkan laju kegagalan jika beroperasi pada suatu daerah yang banyak terjadi petir. Oleh sebab itu penilaian perilaku suatu peralatan atau komponen listrik tidak dapat dipisahkan dari kondisi operasinya.

### 2.3 Status Unit Pembangkit

Dalam memenuhi kebutuhan beban yang selalu fluktuatif kondisi pembangkit benar-benar dituntut baik. Status unit pembangkit menjadi sangat diperhatikan agar kebutuhan beban tetap tercukupi. Pembangkit yang direncanakan tersedia untuk operasi dalam sistem ada kemungkinan mengalami Pemadaman (*Forced Outage*) maka besarnya cadangan daya tersedia sesungguhnya merupakan ukuran keandalan operasi sistem.

Peralatan dalam sistem tenaga listrik perlu dipelihara secara periodik. Penundaan pemeliharaan akan memperbesar kemungkinan rusaknya peralatan. Oleh karena itu, jadwal pemeliharaan peralatan harus ditaati. pemeliharaan yang teratur selain memperpanjang umur ekonomis peralatan juga mempertinggi keandalan peralatan. Jika memperhatikan gambar 2.1 maka pemeliharaan dapat memperkecil nilai *Forced Outage Hours* yang berarti dapat diandalkan bagi kepentingan operasi.



**Gambar 2.1** Diagram Kesiapan Peralatan Dalam Satu Tahun

Jika angka *Forced Outage Hours*, *Planned Outage Hours* dan *Operating Available Hours* masing-masing dibagi dengan 8760 jam, maka akan didapat nilai *Forced Outage Factor* (FOF), *Planned Outage Factor* (POF) dan *Operating Availability Factor* (OAF) untuk satu tahun.

Adapun yang dimaksud dengan status unit pembangkit adalah status operasi suatu unit pembangkit dalam pengoperasian suatu sistem pembangkit. Berikut merupakan macam-macam status pembangkit:

- Durasi Siap (*Available Hours*, AH)  
Merupakan jumlah durasi suatu unit dalam keadaan siap dioperasikan dalam periode operasinya.
- Durasi Operasi (*Service Hours*, SH)  
Jumlah durasi unit pembangkit beroperasi yang tersambung ke jaringan transmisi, baik pada kondisi normal maupun kondisi pengurangan kapasitas unit (*derating*)
- Durasi Periode Operasi (*Periode Hours*, PH)  
Jumlah durasi total dari semua status operasi unit
- Total Durasi Operasi (*Total Operating Hours*, TOH)  
Jumlah durasi dimana setiap unit siap beroperasi dengan kapasitas pembangkitan secara penuh.
- Durasi Keluar Paksa Sebagian (*Forced Partial Outage Hours*, FPOH)  
Jumlah durasi pelepasan yang disebabkan oleh kegagalan (gangguan) peralatan atau kondisi keluar paksa yang mengharuskan pembebanan pada unit pembangkit diturunkan

- f. Durasi Keluar Terencana Sebagian (*Schedule Partial Outage Hours*, SPOH)  
Jumlah durasi pelepasan yang disebabkan oleh kegagalan peralatan atau kondisi yang terencana dan mengharuskan pembebanan unit pembangkitan diturunkan
- g. Jumlah Durasi Keluar Ekonomis (*Total Economy Outage Hours*, TEOH)  
Jumlah durasi suatu unit dikeluarkan dari operasi karena alasan ekonomis penggunaan pembangkit.
- h. Durasi Keluar Paksa (*Forced Outage Hours*, FOH)  
Jumlah durasi suatu unit yang mengalami gangguan paksa. Gangguan paksa disebabkan oleh gangguan peralatan yang diharuskan lepas dari sistem.
- i. Durasi Keluar Pemeliharaan (*Maintenance Outage Hours*, MOH)  
Jumlah durasi pelepasan unit dari sistem untuk melakukan pekerjaan pemeliharaan
- j. Durasi Keluar Terencana (*Planned Outage Hours*, POH)  
Jumlah durasi pelepasan unit dari sistem untuk melakukan pemeriksaan atau turun mesin sebagian besar peralatan utama.
- k. Daya Mampu Netto (DMN)  
Kapasitas maksimum unit pembangkit yang beroperasi terus menerus dalam keadaan stabuk dan aman setelah dikurangi kapasitas pemakaian sendiri.

## 2.4 Daya Tersedia dalam Sistem

Pada daya tersedia dalam dalam sistem tenaga listrik harus cukup untuk melayani kebutuhan tenaga listrik dari konsumen. Daya tersedia tergantung kepada daya terpasang unit-unit pembangkit dalam sistem dan juga tergantung kepada kesiapan operasi unit-unit tersebut. Berbagai faktor seperti gangguan kerusakan dan pemeliharaan rutin menyebabkan unit pembangkit menjadi tidak siap beroperasi.

Cadangan daya yang tersedia dan besar kecilnya nilai FOR (*Forced Outage Rate*) unit-unit pembangkit yang beroperasi dalam selang waktu satu tahun sangat mempengaruhi keandalan sistem pembangkit. Semakin kecil nilai FOR semakin menjamin ketersediaan cadangan daya sistem, hal ini berarti keandalan sistem akan semakin tinggi. Tingkat jaminan tersedianya (*availability*) daya dalam sistem bergantung kepada beberapa faktor dibawah ini, yaitu :

- a. Besarnya nilai FOR (*Forced Outage Hours*) unit-unit pembangkit yang beroperasi dalam waktu satu tahun.
- b. Besarnya cadangan daya yang tersedia (*availability*) dalam sistem.



FOR (*unavailability*) didefinisikan sebagai ukuran sering tidaknya unit-unit pembangkit mengalami gangguan. Dinyatakan dalam rumus sebagai berikut :

$$Unavailability (FOR) = \frac{\sum U_t}{\sum U_t + \sum U_b} \quad (2.1)$$

$$Availability (1-FOR) = \frac{\sum U_b}{\sum U_b + \sum U_t} \quad (2.2)$$

Keterangan :

$U_t$  : jam unit terganggu

$U_b$  : jam unit beroperasi

## 2.5 LOLP (*Loss of Load Probability*)

Indeks keandalan *Loss of Load Probability* (LOLP) adalah suatu kondisi dimana beban puncak melebihi kapasitas dari daya yang tersedia. Metode perhitungan indeks keandalan LOLP dapat digunakan untuk mengevaluasi keperluan dari cadangan daya yang diperlukan konsumen. Perhitungan dengan indeks LOLP memiliki keunggulan lain, diantaranya pada sistem kelistrikan yang terinterkoneksi dapat dihitung nilai dari indeks keandalan pembangkitnya.

*Loss of Load Probability* (LOLP) merupakan kemungkinan kehilangan beban yang didapatkan dari perkalian kemungkinan daya beroperasi dan waktu terjadinya daya beroperasi pada kurva lama beban. LOLP memiliki satuan waktu yang ditetapkan sesuai. Secara umum persamaan dari LOLP adalah

$$LOLP = P_k \times t_k \quad (2.3)$$

Keterangan :

LOLP : *Loss of Load Probability*

$P_k$  : *Individual Probability Capacity Outage*

$t_k$  : Waktu *loss of Load* terjadi

Semakin besar nilai  $t_k$  maka semakin besar juga nilai dari LOLP, artinya waktu pemadaman semakin besar. Hal ini disebabkan kapasitas daya yang terpasang lebih kecil dari beban sistem. Semakin kecil nilai LOLP maka semakin baik nilai keandalan dari sistem tersebut. Sebaliknya semakin besar nilai indeks keandalan LOLP semakin kurang keandalan dari sistem tersebut.

LOLP juga merupakan resiko beroperasi yang dinyatakan dalam hari per tahun. Dalam perencanaan operasi seperti penyusunan jadwal pemeliharaan unit pembangkit nilai dari LOLP sangat diperlukan. Standar

indeks keandalan nilai LOLP dari PT PLN (Persero) selaku pemegang hak listrik negara ialah 1 hari per tahun

## 2.6 Teori Probabilitas

Konsep kejadian yang dinotasikan dengan ( $E$ ) dalam teori probabilitas adalah kejadian yang berhubungan dengan keluaran dari suatu eksperimen yang berulang-ulang. Probabilitas adalah nilai dari kebolehjadian diberikan pada suatu kejadian. Secara lebih rinci probabilitas ditetapkan sebagai fungsi *real* tertentu pada suatu kejadian. Nilai probabilitas berada pada interval 0 dan 1 yang mana pada nilai probabilitas 1 menyatakan kejadian yang pasti terjadi dan nilai probabilitas 0 menyatakan kejadian yang tak mungkin terjadi.

Maka probabilitas kejadian  $E(P[E])$  harus memenuhi persamaan berikut :  $0 \leq P[E] \leq 1$

## 2.7 Metode Monte Carlo

Metode Monte Carlo adalah algoritma komputasi untuk mensimulasikan berbagai perilaku sistem fisika dan matematika. Penggunaan klasik metode ini adalah untuk mengevaluasi integral definit, terutama integral multidimensi dengan syarat dan batasan yang rumit

Compte de Buffon pada tahun 1777 memperkenalkan istilah “monte carlo” dapat digunakan sebagai simulasi. Adapun Penggunaan dalam sistem *real* diperkenalkan oleh S. Marcin Ulam dan J. Von Neumann selama perang dunia pertama pada Los Alamos *Scientific Laboratory*. Mereka menggunakannya untuk merancang perlindungan nuklir dengan membutuhkan data-data tentang jarak yang dapat ditembus oleh neutron pada berbagai material. Masalah ini sangat sulit untuk dipecahkan secara analitis dan terlalu rumit pula untuk dipecahkan dengan eksperimen. Mereka menyelesaikan persoalan tersebut menggunakan komputer, dengan mempergunakan bilangan random. Teknik ini dinamakan metode monte carlo.

Metode monte carlo digunakan dengan istilah sampling statistik. Penggunaan nama monte carlo, yang dipopulerkan oleh para pioner bidang tersebut (termasuk S. Marcin Ulam, Enrico Fermi, J. Von Neumann dan Nicholas Metropolis) merupakan nama kasino terkemuka di Monako. Penggunaan keacakan dan sifat pengulangan proses mirip dengan aktivitas yang dilakukan pada sebuah kasino.

Metode Monte Carlo sangat penting dalam fisika komputasi dan bidang terapan lainnya, dan memiliki aplikasi yang beragam mulai dari perhitungan kromodinamika kuantum esoterik hingga perancangan aerodinamika. Metode ini terbukti efisien dalam memecahkan persamaan diferensial integral medan radians, sehingga metode ini digunakan dalam perhitungan iluminasi global yang menghasilkan gambar-gambar fotorealistik model tiga dimensi, dimana diterapkan dalam video games, arsitektur, perancangan, film yang dihasilkan oleh komputer, efek-efek khusus dalam film, bisnis, ekonomi, dan bidang lainnya.

Karena algoritma ini memerlukan pengulangan (*repetisi*) dan perhitungan yang amat kompleks, metode Monte Carlo pada umumnya dilakukan menggunakan komputer, dan memakai berbagai teknik simulasi komputer. Algoritma Monte Carlo adalah metode Monte Carlo numerik yang digunakan untuk menemukan solusi problem matematis (yang dapat terdiri dari banyak variabel) yang susah dipecahkan, misalnya dengan kalkulus integral, atau metode numerik lainnya.

Simulasi Monte Carlo terdiri dari sebuah model matematis yang diset di dalam program komputer dan dengan menggunakan random sampling dari distribusi kegagalan dan distribusi reparasi dari masing-masing komponen yang ada dalam sistem, reliability, dan availability dari sistem dapat diprediksi. Random sampling ini kemudian dimanfaatkan untuk melakukan penilaian reliability dan availability atau parameter lain yang dikehendaki.

### **2.7.1 Penerapan Monte Carlo**

Berikut adalah contoh kasus sederhana yang menggambarkan konsep dasar dari metode monte carlo:

Contoh 1 :

Dalam pelemparan koin (*tossing coin*) terdapat dua kemungkinan dalam pengambilannya dimisalkan angka dan gambar. Bila Angka dianggap nilai 1 dan gambar dianggap nilai 0. Kemungkinan mendapatkan salah satu dari nilai tersebut adalah  $\frac{1}{2}$  dapat dikatakan bahwa nilai kebenaran dari sebuah pengambilan bernilai 1 atau 0 berapapun banyak sampel yang dicari. Lemparkan koin sebanyak N kemungkinan dan catat setiap keluaran. Jumlahkan setiap kemungkinan setiap N dan akumulasikan setiap N. Pada N tertentu nilai probabilitas antara angka dan gambar adalah  $\frac{1}{2}$ .

Contoh 2 :

Sebuah dadu dilempar mempunyai probabilitas atau kemungkinan munculnya angka pada sisi dadu adalah  $\frac{1}{6}$ . Dari enam sisi setiap sisi kemungkinan yang bakal terjadi memiliki probabilitas yang sama. Probabilitas ini dapat dihitung menggunakan metode monte carlo simulation. Lemparkan sebanyak N kemungkinan dan catat nilai 1 apabila dadu menghasilkan nilai 1. Jika dianggap munculnya nilai kejadian keluaran angka satu sebagai f. Maka perkiraan dari probabilitas adalah sebesar  $\frac{f}{N}$ . Sebagaimana nilai N meningkat maka nilai  $\frac{f}{N}$  akan mendekati nilai  $\frac{1}{6}$ .

Contoh diatas mengindikasikan bahwa metode monte carlo dapat digunakan tidak hanya memecahkan stokastik tetapi juga masalah-masalah deterministik. Aplikasi dari metode monte carlo dapat dilihat pada berbagai bidang seperti perhitungan matematika yang kompleks, simulasi proses stokastik, statistik medis, *analysis engineering system* dan evaluasi keandalan.

### 2.7.2 Pembangkitan Nilai Acak

Metode monte carlo menggunakan pembangkitan nilai acak untuk menyelesaikan beberapa masalah. Bilangan Acak dapat dibangkitkan dengan pola tertentu yang dinamakan dengan distribusi mengikuti fungsi distribusi yang ditentukan. Terdapat Dua macam distribusi pada bilangan acak yaitu bilangan acak berdistribusi uniform dan bilangan acak berdistribusi non-uniform.

Pada bilangan acak berdistribusi uniform, kemungkinan munculnya setiap bilangan adalah sama. Distribusi ini sering disebut Distribusi normal. Bilangan acak dibangkitkan menggunakan metode pembangkitan bilangan acak dengan distribusi non-uniform seperti metode invers serta distribusi eksponensial.

Distribusi eksponensial merupakan salah satu distribusi yang paling sering muncul dalam konteks evaluasi keandalan. Pada distribusi ini, laju kegagalan adalah konstan ( $\lambda=C$ ), seperti pada bagian kedua pada kurva bak mandi yang memiliki tingkat kegagalan yang konstan. Distribusi eksponensial adalah kasus khusus dari distribusi Poisson jika hanya kegagalan yang pertama saja yang diperhitungkan.

Metode monte carlo dapat menggunakan pembangkitan bilangan acak berdistribusi normal maupun berdistribusi eksponensial. Sesuai dengan *case* yang dimodelkan.

### 2.7.3 Konsep Monte Carlo

Parameter dasar dari evaluasi keandalan adalah dugaan secara matematis yang diberikan oleh indeks keandalan. Ciri-ciri yang menonjol dari metode Monte Carlo untuk evaluasi keandalan dibahas pada poin berikut:

Misal dianggap nilai  $\bar{O}$  adalah probabilitas kegagalan dari sebuah sistem dan  $X_{\text{variabel}}$  indikator nilai 1 dan 0 yang menyatakan bahwa:

$X_i = 0$  Jika sistem dalam keadaan *up state*

$X_i = 1$  Jika sistem dalam keadaan *down state*

Perhitungan dari ketidaktersediaan dari sebuah sistem diberikan oleh:

$$\bar{O} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.4)$$

Dimana  $N$  adalah Jumlah penarikan state sampel dari sistem.

Sampel variannya :

$$V_{(x)} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{O})^2 \quad (2.5)$$

Ketika ukuran sampel cukup besar persamaannya menjadi:

$$V_{(x)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{O})^2 \quad (2.6)$$

Karena  $x_i$  variabel 1 dan 0 maka:

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.7)$$

Maka persamaannya menjadi:

$$\begin{aligned} V(\bar{O}) &= \frac{1}{N} V_{(x)} \\ &= \frac{1}{N} (\bar{O} - \bar{O}^2) \end{aligned} \quad (2.8)$$

Level akurasi dari Monte Carlo simulation dapat ditunjukkan oleh koefisien variasi yang diartikan sebagai:

$$\alpha = \frac{\sqrt{V(\bar{O})}}{\bar{O}} \quad (2.9)$$

Sehingga persamaannya menjadi:

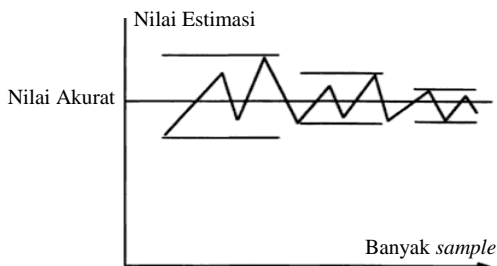
$$\alpha = \frac{\sqrt{1 - \bar{O}}}{N\bar{O}} \quad (2.10)$$

Persamaan ini mengindikasikan 2 poin penting :

1. Untuk mendapatkan level akurasi dari  $\alpha$ , diperlukan jumlah  $N$  sampel yang tergantung dari ketidakterersediaan dari sistem tetapi tidak bergantung dari besarnya sistem. Oleh karena itu metode Monte Carlo sangat cocok untuk sistem keandalan dengan skala besar.
2. *Unavailability system* atau disebut juga dengan ketidakterersediaan daya dari sistem pada praktek sistem keandalan evaluasi biasanya kurang dari 1. Oleh karena itu:

$$N \approx \frac{1}{\alpha^2 \bar{O}} \quad (2.11)$$

Hasil dari monte carlo akan melalui proses konvergensi. Konvergensi merupakan keadaan dimana hasil *output* menuju satu titik. Hal ini dikarenakan adanya proses pembangkitan *variabel* acak. Adapun proses konvergensi adalah seperti gambar dibawah ini



**Gambar 2.15** Proses Konvergensi

Terlihat dalam gambar untuk proses konvergensi bahwa untuk *sample* yang lebih banyak akan mendekati nilai akurat, sehingga dapat disimpulkan bahwa *range error* dari *value* yang dicari berbanding terbalik dengan jumlah *sample*.

#### 2.7.4 LOLP dengan metode Monte Carlo

Hal yang terpenting dalam simulasi dengan metode monte carlo adalah pemahaman tentang variabel acak mulai dari menghasilkan dan mengkonversi. Sebagai contoh dapat dibahas sebuah sistem yang terdiri dari pembangkit dan beban. Untuk mendapatkan nilai LOLP nya diawali

dengan pembuatan *rule* pada masing-masing unit pembangkit dan beban. *Rule* tersebut nantinya akan menjadi pedoman menentukan apakah sistem tersebut mampu menyuplai beban atau sebaliknya. Nilai dari penentuan *rule* setiap unit pembangkit (generator) didapatkan berdasarkan data lapangan. Data yang dimaksud adalah keadaan saat pembangkit aktif dan tidak serta ditentukan dari nilai. Setelah menentukan aturan-aturan yang akan digunakan, membangkitkan nilai acak dengan bantuan program komputer agar mendapat nilai dari LOLP sesuai dengan hakikat monte carlo yaitu pembangkitan nilai acak diawal.

Contoh :

Sebuah sistem interkoneksi terdiri dari tiga unit pembangkit dan sebuah bus beban. Setiap pembangkit memiliki spesifikasi seperti berikut : Generator 1 membangkitkan 50 MW, Generator 2 membangkitkan 20 MW dan Generator 3 membangkitkan 30 MW, Berapa nilai LOLP bila beban puncak 70 MW.

Langkah pertama adalah membuat *rule* (aturan) dari pembangkit yang ada berdasarkan keadaan pembangkit aktif atau tidak *rule generator* (Ditentukan dari FOR Pembangkit). N merupakan jumlah penarikan.

#### **Untuk Generator 1**

Angka 1 : Off

Angka 2-100 : On

#### **Untuk Generator 2**

Angka 1 - 2 : Off

Angka 3 - 100 : On

#### **Untuk Generator 3**

Angka 2 - 3 : Off

Angka 4 -100 : On

#### **Rule untuk Beban**

Angka 1 - 9 : 30 MW

Angka 10 - 13 : 50 MW

Angka 13 -24 : 70 MW

**Tabel 2.1** *rule* Pembangkit dan Beban

N	Gen 1		Gen 2		Gen 3		Beban		
	Angka Acak	Ket	Angka Acak	Ket	Angka acak	Ket	Angka acak	Daya	Ket
1	25	On	3	On	15	On	1	30	On
2	4	On	1	Off	100	On	1	30	On
3	15	On	6	On	65	On	4	30	On
4	27	On	17	On	21	On	6	30	On
5	12	On	10	On	14	On	18	70	On
6	1	Off	15	On	28	On	22	70	Off
7	15	On	20	On	2	Off	7	30	Off
8	14	On	13	On	7	On	4	30	On
9	19	On	15	On	68	On	11	50	On
10	20	On	13	On	76	On	2	30	On

Keterangan angka pada G1, G2, G3 adalah angka acak yang nilai batasannya ditentukan sendiri. Pembuatan angka acak ini umumnya dibantu oleh Program komputer. Hasil dari angka acak tersebut angka menentukan keterangan dari tiap tabel apakah tiap pembangkit dan beban tersebut akan *on* / *off* sehingga akan menentukan nilai dari keterangan umum yang menyatakan apakah sistem tersebut akan *on* / *off* yang pada akhirnya akan menentukan hasil dari nilai LOLP itu sendiri. Jumlah pengacakan juga harus diketahui, seperti contoh diatas bahwa jumlah penarikan acak hanya 10 kali, sedangkan menurut teori semakin besar jumlah penarikan acak maka eror yang dihasilkan dari nilai sebenarnya semakin kecil.

$$LOLP = \frac{\text{Status Pembangkit Off}}{\text{Jumlah Probalistik}} \times 100\%$$

Oleh karena itu setelah diketahui nilai LOLP nya maka dibuat kurva konvergensi untuk jumlah N penarikan acak apakah nilai varian atau nilai perubahannya semakin besar atau tidak. Jika tidak banyak berubah maka dapat dikatakan bahwa LOLP yang dihitung sudah mendekati valid.

### 2.7.5 Keuntungan dan Kerugian Metode Monte Carlo

Keuntungan dan kekurangan teknik simulasi bila dibandingkan dengan teknik analitis adalah sebagai berikut[9]:

- (1) Waktu yang diperlukan untuk solusi secara analitis umumnya relatif lebih singkat sedangkan simulasi relative lebih lama. Hal ini tidak menjadi masalah untuk simulasi yang dilakukan dengan komputer yang mempunyai kecepatan dan memori yang lebih besar.



- (2) Pemodelan secara analitis akan selalu memberikan hasil numerik yang sama untuk sistem, model, dan satu set data yang sama, sedangkan hasil dari simulasi tergantung dari random number generator yang dipakai dan jumlah simulasi yang dilakukan. Hasil dari pendekatan secara analitis yang konsisten membangkitkan keyakinan bagi user tetapi mungkin juga menjadi tidak realistik.
- (3) Model yang dipergunakan untuk pendekatan secara analitis biasanya merupakan penyederhanaan dari sebuah sistem, dan terkadang terlalu disederhanakan sehingga menjadi tidak realistik. Sedangkan teknik simulasi dapat melibatkan dan menyimulasikan semua karakteristik sistem yang diketahui.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB III

### SISTEM 150kV WILAYAH BALI

#### 3.1 Kelistrikan 150kV Wilayah Bali

Sistem kelistrikan Bali saat ini telah terinterkoneksi dengan sistem kelistrikan Pulau Jawa. Berdasarkan gambar 3.1 yang merupakan peta kelistrikan wilayah Bali, Terdapat 14 Gardu induk sistem 150 kV dengan konfigurasi *ring* dan *radial*. Setiap Gardu induk memiliki kapasitas yang berbeda-beda mulai dari 20 MVA sampai 210 MVA Dihubungkan melalui saluran udara tegangan tinggi dan Kabel tanah 150 kV.



**Gambar 3.1** Peta kelistrikan Wilayah Bali

Sistem kelistrikan Wilayah Bali berkembang pesat pada daerah selatan yang merupakan ibukota sekaligus lokasi pariwisata yang cukup banyak. Sistem kelistrikan wilayah Bali memiliki 10 pembangkit dengan secara rinci yaitu sebanyak 26 generator yang terhubung pada sistem 150 kV. Lebih rinci tentang kapasitas dari pembangkit wilayah Bali akan di jelaskan pada Subbab 3.2.

### 3.2 Pembangkit di Wilayah Bali

Pada tugas akhir ini dilakukan pembahasan mengenai sistem 150 kV di Wilayah Bali. Pembangkit yang dibahas merupakan pembangkit yang terhubung ke sistem 150 kV. Sedangkan Jaringan 150 kV dari pulau Jawa dianggap sebagai pembangkit akan dibahas pada subbab 3.2. Berdasarkan *single line diagram* yang terdapat di lampiran [1] maka tabel 3.1 dijabarkan nilai daya yang terpasang dan kemampuan pembangkit thermis yang terhubung langsung ke sistem 150 kV di wilayah Bali.

**Tabel 3.1** Pembangkit Thermis yang Terhubung ke Sistem 150 kV

No	Pusat Listrik		Daya Terpasang (MW)	Kemampuan (MW)
1	PLTG Pesanggaran	1	21,35	17,65
		2	20,10	18,30
		3	42,00	39,50
		4	42,00	36,15
	<b>TOTAL</b>		<b>125,45</b>	<b>111,60</b>
2	PLTDG Pesanggaran Blok 1	1	16,90	15,20
		2	16,90	15,20
		3	16,90	15,20
	<b>TOTAL</b>		<b>50,70</b>	<b>45,60</b>
3	PLTDG Pesanggaran Blok 2	4	16,90	15,20
		5	16,90	15,20
		6	16,90	15,20
	<b>TOTAL</b>		<b>50,70</b>	<b>45,60</b>
4	PLTDG Pesanggaran Blok 3	7	16,90	15,20
		8	16,90	15,20
		9	16,90	15,20
	<b>TOTAL</b>		<b>50,70</b>	<b>45,60</b>
5	PLTDG Pesanggaran Blok 4	10	16,90	15,20
		11	16,90	15,20
		12	16,90	15,20
	<b>TOTAL</b>		<b>50,70</b>	<b>45,60</b>
6	PLTD Pesanggaran BOT	1	17,50	16,67
		2	17,50	16,67
		3	17,50	16,66
	<b>TOTAL</b>		<b>52,50</b>	<b>50,00</b>

**Tabel 3.1** Pembangkit Thermis yang Terhubung Sistem 150kV lanjutan

No	Pusat Listrik		Daya Terpasang (MW)	Kemampuan (MW)
7	PLTD E Pesanggaran	1	10,00	10,00
	<b>TOTAL</b>		<b>10,00</b>	<b>10,00</b>
8	PLTG Pemaron	1	48,00	40,00
		2	48,00	40,00
	<b>TOTAL</b>		<b>96,00</b>	<b>80,00</b>
9	PLTG Gilimanuk	1	138,00	130,00
	<b>TOTAL</b>		<b>138,00</b>	<b>130,00</b>
10	PLTU Celukan Bawang	1	142,00	125,00
		2	142,00	125,00
		3	142,00	130,00
	<b>TOTAL</b>		<b>426,00</b>	<b>380,00</b>

Dari tabel 3.1 dapat diketahui nilai daya kemampuan dari masing –masing pembangkit yang terhubung sistem 150 kV wilayah Bali. Total pembangkit yang terhubung ke sistem 150 kv sebanyak 26 pembangkit dengan daya kemampuan bervariasi. Terdiri dari PLTG Pesanggaran (4 unit), PLTDG Pesanggaran (12 unit), PLTD Pesanggaran BOT (3 unit), PLTD E Pesanggaran (1 unit), PLTG Pemaron (2 unit), PLTG Gilimanuk (1 unit), PLTU Celukan Bawang (3 unit).

### 3.3 Jaringan 150kV dari Pulau Jawa

Wilayah Bali mendapat suplai jaringan 150 kV dari pulau jawa. Konfigurasi transmisi dari pulau jawa dianggap sebagai salah satu sumber generator yang menyuplai sistem 150 kV. Data lebih lengkap mengenai Jaringan 150kV dari Pulau Jawa beserta besar kapasitas daya yang mampu disuplai dan panjangnya seperti pada tabel 3.2

**Tabel 3.2** Jaringan 150 kV Pulau Jawa

Jaringan	Kemampuan(MW)	Kapasitas (MW)
Kabel Laut Banyuwangi 1	85	100
Kabel Laut Banyuwangi 2	85	100
Kabel Laut Banyuwangi 3	85	100
Kabel Laut Banyuwangi 4	85	100
<b>TOTAL</b>	<b>340</b>	<b>400</b>

Berdasarkan tabel 3.3 diamati bahwa Pengiriman daya dari pulau jawa ke Bali menggunakan Kabel laut kemampuan yang digunakan hanya 85 MW setiap kabel. Jaringan dari pulau Jawa melalui Banyuwangi terhubung langsung pada GI Gilimanuk. kemampuan maksimal suplai Jaringan dari pulau Jawa sebesar 400 MW, Namun total yang digunakan hanya sebesar 340 MW. Kabel Laut dari banyuwangi sistem 150kV memiliki FOR = 0 karena dianggap tidak pernah terjadi gangguan.

### 3.4 Forced Outage Rate (FOR) Pembangkit

Pada tabel 3.3 dibawah ini adalah urutan pembangkit untuk sistem kelistrikan 150 KV di Wilayah Bali. Dari setiap pembangkit akan dicari nilai FOR nya dan sesuai dengan metode monte carlo, maka akan dibuat rule berdasarkan dari FOR. Tabel 3.3 adalah tabel total pembangkit yang terhubung langsung ke sistem 150 kV.

**Tabel 3.3** Total pembangkit yang Langsung Terhubung ke Sistem 150 kV

No.	Nama Pembangkit	Kapasitas (MW)
1.	Kabel Laut Pulau Jawa	340
2.	PLTG Pesanggaran #1	17,65
3.	PLTG Pesanggaran #2	18,30
4.	PLTG Pesanggaran #3	39,50
5.	PLTG Pesanggaran #4	36,15
6.	PLTDG Pesanggaran Blok 1 #1	15,20
7.	PLTDG Pesanggaran Blok 1 #2	15,20
8.	PLTDG Pesanggaran Blok 1 #3	15,20
9.	PLTDG Pesanggaran Blok 2 #1	15,20
10.	PLTDG Pesanggaran Blok 2 #2	15,20
11.	PLTDG Pesanggaran Blok 2 #3	15,20
12.	PLTDG Pesanggaran Blok 3 #1	15,20
13.	PLTDG Pesanggaran Blok 3 #2	15,20
14.	PLTDG Pesanggaran Blok 3 #3	15,20
15.	PLTDG Pesanggaran Blok 4 #1	15,20
16.	PLTDG Pesanggaran Blok 4 #2	15,20
17.	PLTDG Pesanggaran Blok 4 #3	15,20
18.	PLTD Pesanggaran BOT #1	16,67
19.	PLTD Pesanggaran BOT #2	16,67

**Tabel 3.3** Total Pembangkit yang Langsung Terhubung ke Sistem 150kV lanjutan

No.	Nama Pembangkit	Kapasitas (MW)
20.	PLTD Pesanggaran BOT #3	16,66
21.	PLTD E Pesanggaran	10,00
22.	PLTG Pemaron #1	40,00
23.	PLTG Pemaron #2	40,00
24.	PLTG Gilimanuk	130,00
25.	PLTU Celukan Bawang #1	125,00
26.	PLTU Celukan Bawang #2	125,00
27.	PLTU Celukan Bawang #3	130,00
<b>TOTAL</b>		<b>1284,00</b>

Berdasarkan tabel 3.3 tertera kapasitas daya sebanyak 26 unit pembangkit yang dapat dilihat di *single line diagram* sub-sistem wilayah Bali. Kapasitas pembangkit terbesar di wilayah Bali adalah PLTU Celukan Bawang unit 3 sebesar 130 MW dan PLTG Gilimanuk sebesar 130 MW. Namun untuk Total kompleks Pembangkit terbesar adalah Pembangkit Pesanggaran 354 MW milik PT Indonesia Power.

Kondisi-kondisi yang mempengaruhi nilai FOR pembangkit adalah saat kondisi pembangkit mengalami *Forced Outage* (FO), *Maintenance Outage* (MO), dan *Planned Outage* (PO). Saat terjadi kondisi-kondisi ini dimana semakin lama waktu *outage* semakin besar nilai FOR nya yang menyebabkan cadangan sistem terganggu. Berdasarkan data yang di dapat pada Laporan Harian Pelaksanaan Operasi APB Bali selama satu tahun, dimulai pada tanggal 01 Januari 2016 – 31 Desember 2016 diperoleh nilai FOR setiap pembangkit. Adapun hasil FOR setiap pembangkit yang terhubung langsung dengan sistem 150 kV di tampilkan pada tabel 3.4 dibawah ini :

**Tabel 3.4** Total pembangkit yang Langsung Terhubung ke Sistem 150 kV

No.	Nama Pembangkit	Kapasitas (MW)	FOR	1 - FOR
1.	Kabel Laut P Jawa	340	0	1
2.	PLTG Psgrn #1	17,65	0,038356164	0,961643836
3.	PLTG Psgrn #2	18,30	0,038356164	0,961643836
4.	PLTG Psgrn #3	39,50	0,134246575	0,865753425

**Tabel 3.4** Total pembangkit yang Langsung Terhubung ke Sistem 150 kV lanjutan

No.	Nama Pembangkit	Kapasitas (MW)	FOR	1 - FOR
5.	PLTG Psgrn #4	36,15	0,038356164	0,961643836
6.	PLTDG Psgrn #1.1	15,20	0,038356164	0,961643836
7.	PLTDG Psgrn #1.2	15,20	0,057534247	0,942465753
8.	PLTDG Psgrn #1.3	15,20	0,057534247	0,942465753
9.	PLTDG Psgrn #2.1	15,20	0,039223744	0,960776256
10.	PLTDG Psgrn #2.2	15,20	0,058401826	0,941598174
11.	PLTDG Psgrn #2.3	15,20	0,063013699	0,936986301
12.	PLTDG Psgrn #3.1	15,20	0,057534247	0,942465753
13.	PLTDG Psgrn #3.2	15,20	0,057534247	0,942465753
14.	PLTDG Psgrn #3.3	15,20	0,057534247	0,942465753
15.	PLTDG Psgrn #4.1	15,20	0,057534247	0,942465753
16.	PLTDG Psgrn #4.2	15,20	0,038356164	0,961643836
17.	PLTDG Psgrn #4.3	15,20	0,057534247	0,942465753
18.	PLTD Psgrn BOT #1	16,67	0,038356164	0,961643836
19.	PLTD Psgrn BOT #2	16,67	0,038356164	0,961643836
20.	PLTD Psgrn BOT #3	16,66	0,017351598	0,982648402
21.	PLTD E Pesanggaran	10,00	0,017351598	0,982648402
22.	PLTG Pemaron #1	40,00	0,038356164	0,961643836
23.	PLTG Pemaron #2	40,00	0,038356164	0,961643836
24.	PLTG Gilimanuk	130,00	0,038356164	0,961643836
25.	PLTU Clkn Bwng #1	125,00	0,057534247	0,942465753
26.	PLTU Clkn Bwng #2	125,00	0,115068493	0,884931507
27.	PLTU Clkn Bwng #3	130,00	0,057534247	0,942465753

### 3.5 Beban Sistem 150 kV Bali

Beban sistem 150kV Bali disalurkan melalui beberapa *substation* (Gardu Induk). Terdapat dapat 14 Gardu induk sistem 150kV to 20kV. Beban pada sistem ditunjukkan oleh kurva beban harian. Kurva beban harian pada tugas akhir ini didapat pada data PLN Laporan Harian Pelaksanaan Operasi wilayah bali selama satu tahun pada tanggal 1 Januari 2016 – 31 Desember 2016. Namun pada bab ini hanya ditampilkan selama satu minggu saat akhir tahun 2016 yaitu pada tanggal 25 Desember 2016 – 31 Desember 2016. seperti yang tertera pada tabel 3.6 dibawah ini.



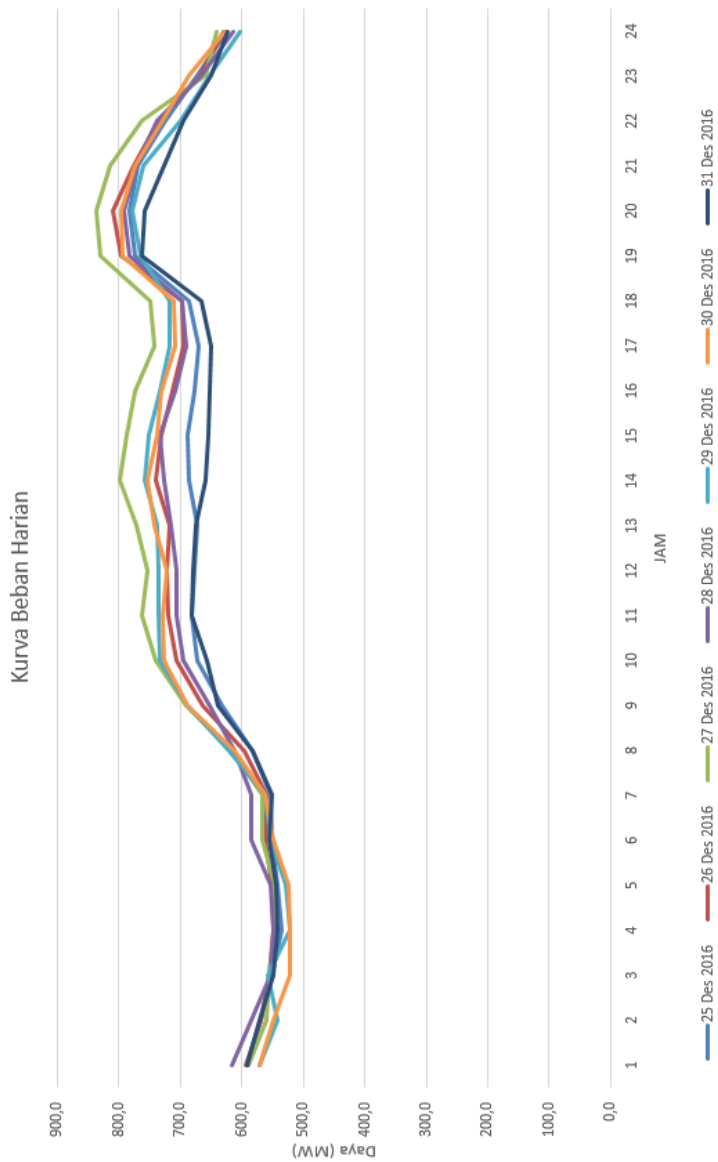
**Tabel 3.6** Beban Sistem 150 KV di Bali [4]

Jam	Beban Sistem (MW)						
	25 Des 2016	26 Des 2016	27 Des 2016	28 Des 2016	29 Des 2016	30 Des 2016	31 Des 2016
00.30	608,6	614,6	604,0	628,8	586,2	588,0	607,3
01.00	591,4	593,1	589,4	616,9	570,9	571,4	592,0
01.30	580,2	578,8	583,0	597,1	548,4	561,8	581,7
02.00	568,4	570,1	558,9	584,7	541,1	549,8	572,2
02.30	563,2	567,0	557,8	562,0	538,0	537,4	559,2
03.00	552,0	555,0	555,5	552,3	558,1	522,1	549,5
03.30	542,9	549,6	546,0	550,5	526,5	522,1	539,4
04.00	536,2	548,6	546,0	548,3	520,8	521,1	541,3
04.30	535,9	546,8	546,2	548,7	526,6	519,0	540,8
05.00	542,5	550,2	546,6	553,3	529,4	524,5	544,1
05.30	551,2	558,1	554,6	567,5	548,1	540,8	552,9
06.00	550,9	562,6	566,4	585,8	553,8	548,0	556,0
06.30	549,9	563,9	565,1	585,1	548,9	560,9	554,0
07.00	553,6	560,4	566,6	583,8	561,8	561,61	549,9
07.30	565,4	577,5	592,2	592,3	586	559,98	573,5
08.00	583,5	596,9	615,4	612,2	620,8	611,65	582,4
08.30	607,6	640	668,1	635,5	659,5	642,2	608,4
09.00	633	664,2	691,6	651,4	688,1	689,3	638,9
09.30	649,7	691,9	714,3	673,7	710,9	699,82	645,4
10.00	672,9	707,3	739,9	695,2	734,4	725,5	657,2
10.30	681,9	717,2	752,6	706,7	735,5	727,2	675,5
11.00	682	719,9	763,4	707,4	736,3	728,4	682,5
11.30	679,7	727,9	756,9	711	739,7	735,47	677,4
12.00	676,6	722,3	753,1	705,3	736,2	722,9	678,4
12.30	678,7	714,3	753,9	711,7	732,5	734,2	665,6
13.00	672,2	717,6	772,4	716,3	738,5	742	675
13.30	683,3	725,5	785,9	721,7	764	755	672,9
14.00	685,8	741,2	798,5	725,5	758,8	754,2	659,9
14.30	688,4	732,2	792,6	735,8	757,6	754,2	659,2
15.00	688,4	730,2	787,9	733	752	738,4	654,8
15.30	682,5	724,2	781,7	719,8	741,01	737,76	654,4
16.00	682,5	713,9	773,4	708,7	733,64	730,25	653,2
16.30	682,5	711,4	759,8	696	728,03	716,99	652,1
17.00	682,5	695,1	742,9	690,8	717,18	708,81	651,1
17.30	682,5	685,8	736,5	686,8	710,09	698,59	654,32
18.00	682,5	697	749	698,1	717,88	710,49	666,8
18.30	682,5	734,4	771	732,9	741,47	749,82	700,3
19.00	682,5	796,5	829,4	783,8	765,33	793,63	762,5
19.30	682,5	814,3	843,8	803,3	786,81	804,36	770,83
20.00	682,5	809,8	835,9	792	777,83	796,94	758,6
20.30	682,5	797,9	828,4	781,4	780,13	781,55	733,6

**Tabel 3.6** Beban Sistem 150 kV di Bali Lanjutan

Jam	25 Des 2016	26 Des 2016	27 Des 2016	28 Des 2016	29 Des 2016	30 Des 2016	31 Des 2016
21.00	682,5	775,4	814,8	772,7	759,67	772,86	727,5
21.30	682,5	765,4	788,9	751,6	728,67	765,7	711,66
22.00	682,5	734,7	762,8	738,3	699,7	728,63	696,1
22.30	682,5	707,9	717,1	691,6	685,64	711,69	680,16
23.00	682,5	667,5	659,7	664,8	651,97	685,15	649,07
23.30	682,5	646,4	666,5	627,2	631,52	659,11	639,49
24.00	682,5	629,6	640,8	613,2	602,72	626,42	623,09

Pada tabel 3.6 terdapat hasil penjumlahan daya yang dibangkitkan oleh 26 unit pembangkit ditambah dengan daya yang disalurkan Kabel laut dari pulau Jawa. Data yang ditampilkan atas dasar pemilihan dari kondisi wilayah Bali saat akhir tahun bertepatan dengan libur natal dan tahun baru 2017. Berdasarkan tabel 3.6 dapat diketahui bahwa rata-rata beban sistem pada hari minggu adalah rata-rata beban sistem yang paling rendah. Beban terendah terjadi pada tanggal 24 Januari 2016 pukul 04.30 dengan beban sebesar 3750,9 MW. Beban tertinggi didapatkan pada hari Jumat tanggal 30 Desember 2016 dengan beban sebesar 519,0 MW. Dari tabel 3.6 dibuat gambar kurva beban harian mulai 25 Desember 2016 – 31 Desember 2016. Gambar kurva beban harian terdapat pada gambar 3.2

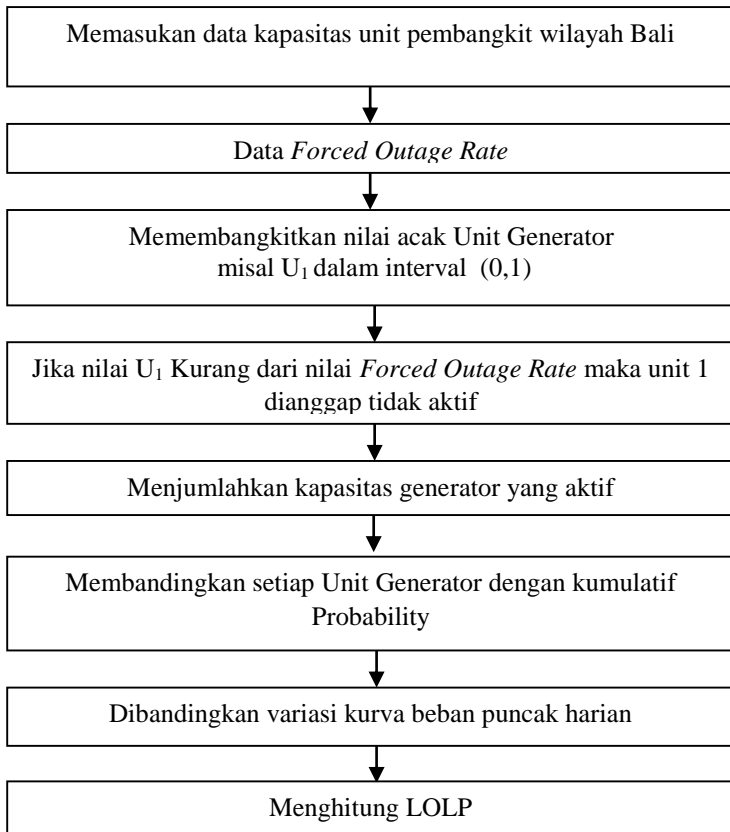


**Gambar 3.2** Kurva Beban Harian

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV SIMULASI DAN ANALISA

Pada bab 4 akan dilakukan perhitungan prediksi nilai LOLP dengan menggunakan metode Monte Carlo . Metode Monte Carlo adalah menghimpun akumulasi dari kombinasi beberapa unit pembangkit dalam mensuplai kebutuhan beban yang fluktuaktif. Flowchart mencari nilai LOLP menggunakan metode Monte Carlo dapat dijelaskan sebagai berikut :



**Gambar 4.1** Flowchart Perhitungan LOLP

#### 4.1 Data Kapasitas Unit Pembangkit di Wilayah Bali

Perhitungan data kapasitas unit pembangkit dan kapasitas kabel laut dari pulau jawa untuk indeks LOLP dilakukan menggunakan program matlab. Data kapasitas unit pembangkit di ambil dari APB Bali wilayah Bali. Kapasitas unit pembangkit dilihat dari unit pembangkit yang terhubung ke sistem 150 Kv Bali dan kabel laut dari pembangkit wilayah Jawa Timur.

**Tabel 4.1** Kapasitas Unit Pembangkit

Gen no	Nama Pembangkit	Kapasitas (MW)
1	PLTG Pesanggaran #1	17,65
2	PLTG Pesanggaran #2	18,3
3	PLTG Pesanggaran #3	39,5
4	PLTG Pesanggaran #4	36,15
5	PLTDG Pesanggaran Blok 1 #1	15,2
6	PLTDG Pesanggaran Blok 1 #2	15,2
7	PLTDG Pesanggaran Blok 1 #3	15,2
8	PLTDG Pesanggaran Blok 2 #1	15,2
9	PLTDG Pesanggaran Blok 2 #2	15,2
10	PLTDG Pesanggaran Blok 2 #3	15,2
11	PLTDG Pesanggaran Blok 3 #1	15,2
12	PLTDG Pesanggaran Blok 3 #2	15,2
13	PLTDG Pesanggaran Blok 3 #3	15,2
14	PLTDG Pesanggaran Blok 4 #1	15,2
15	PLTDG Pesanggaran Blok 4 #2	15,2
16	PLTDG Pesanggaran Blok 4 #3	15,2
17	PLTD Pesanggaran BOT #1	16,67
18	PLTD Pesanggaran BOT #2	16,67
19	PLTD Pesanggaran BOT #3	16,66
20	PLTD E Pesanggaran	10
21	PLTG Pemaron #1	40
22	PLTG Pemaron #2	40
23	PLTG Gilimanuk	130
24	PLTU Celukan Bawang #1	125
25	PLTU Celukan Bawang #2	125
26	PLTU Celukan Bawang #3	130
27	Kabel Laut P Jawa	340

Pada Tabel 4.1 tertera kapasitas daya sebanyak 26 unit pembangkit yang dapat dilihat di *single line diagram* sub-sistem Wilayah Bali Kapasitas masing-masing unit pembangkit dan Kabel laut dari pulau Jawa pada dilihat pada tabel tersebut.

## 4.2 Data Forced Outage Rate

Data *forced outage rate (Unavailability)* dan *Availability* dijelaskan pada BAB 3. Setelah dilakukan perhitungan nilai FOR dan *availability* maka data tersebut di olah di excel untuk perhitungan selanjutnya. Tabel 4.2 berisikan nilai *Unavailability* dan nilai *Availability* yang tertera dibawah ini.

**Tabel 4.2** Nilai FOR dan 1-FOR

Gen no	Nama Pembangkit	<i>Unavailability</i>	<i>Availability</i>
1	PLTG Psgrn #1	0,038356164	0,961643836
2	PLTG Psgrn #2	0,038356164	0,961643836
3	PLTG Psgrn #3	0,134246575	0,865753425
4	PLTG Psgrn #4	0,038356164	0,961643836
5	PLTDG Psgrn #1.1	0,038356164	0,961643836
6	PLTDG Psgrn #1.2	0,057534247	0,942465753
7	PLTDG Psgrn #1.3	0,057534247	0,942465753
8	PLTDG Psgrn #2.1	0,039223744	0,960776256
9	PLTDG Psgrn #2.2	0,058401826	0,941598174
10	PLTDG Psgrn #2.3	0,063013699	0,936986301
11	PLTDG Psgrn #3.1	0,057534247	0,942465753
12	PLTDG Psgrn #3.2	0,057534247	0,942465753
13	PLTDG Psgrn #3.3	0,057534247	0,942465753
14	PLTDG Psgrn #4.1	0,057534247	0,942465753
15	PLTDG Psgrn #4.2	0,038356164	0,961643836
16	PLTDG Psgrn #3	0,057534247	0,942465753
17	PLTD Psgrn BOT #1	0,038356164	0,961643836
18	PLTD Psgrn BOT #2	0,038356164	0,961643836
19	PLTD Psgrn BOT #3	0,017351598	0,982648402
20	PLTD E Pesanggaran	0,017351598	0,982648402
21	PLTG Pamaran #1	0,038356164	0,961643836
22	PLTG Pamaran #2	0,038356164	0,961643836
23	PLTG Gilimanuk	0,038356164	0,961643836

**Tabel 4.2** Nilai FOR dan 1-FOR lanjutan

Gen no	Nama Pembangkit	Unavailability	Availability
24	PLTU Clkn Bwng #1	0,057534247	0,942465753
25	PLTU Clkn Bwng #2	0,115068493	0,884931507
26	PLTU Clkn Bwng #3	0,057534247	0,942465753
27	Kabel Laut P Jawa	0	1

Pada tabel 4.2 dapat diamati bahwa nilai FOR tertinggi adalah PLTG Pesanggaran unit 3 sebesar 0,134246575 dengan kemampuan daya sebesar 39,5 MW. Penyebab nilai FOR tinggi dikarenakan waktu perbaikan peralatan yang panjang selama 1176 jam.

### 4.3 Monte Carlo Simulation

Model simulasi monte carlo yang digunakan adalah model monte carlo skuensial yaitu model bilangan acak yang dibangkitkan dari generator dan beban dengan waktu dari keadaan generator aktif. Setelah bilangan acak didapatkan maka bilangan tersebut ditarik sesuai dengan distribusi probabilitas unit pembangkit.

Angka acak dibangkitkan berdasarkan jumlah sampling dari setiap banyaknya nilai iterasi . Setelah nilai dibangkitkan dan dibandingkan rule generator dengan cadangan daya. Semua diulang berdasarkan banyak generator. Jika kapasitas daya kurang dari beban maka didapatkan nilai LOLP jam/hari yang kemudian dikonversi menjadi LOLP hari/tahun dengan cara mengkali jumlah hari dalam satu tahun dan dibagi jumlah jam.

Seperti dijelaskan pada bab 2 nilai LOLP dari metode monte carlo terdapat proses konvergensi bahwa untuk sample mendapatkan range error dari value yang kemudian dapat di plot menjadi grafik

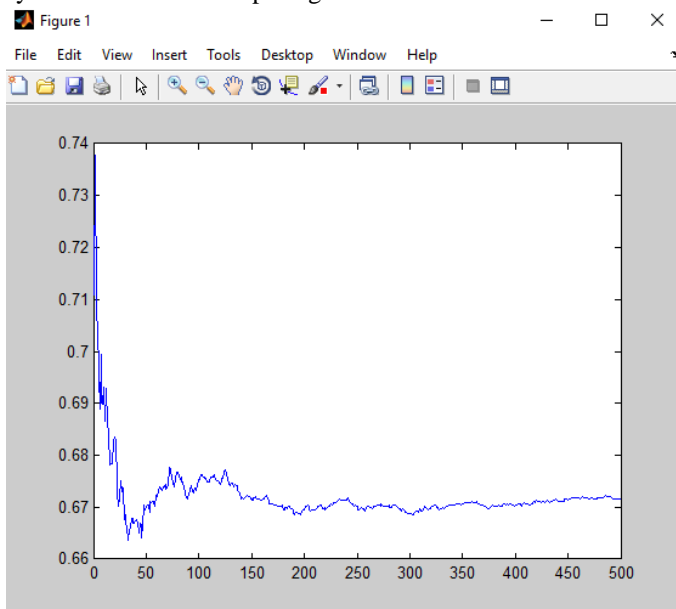
Maka didapatkan nilai LOLP dari penarikan acak sebanyak 500 kali seperti gambar dibawah ini

```
Command Window
Banyak Sampling = 500.0000
LOLP Hari Per Tahun = 0.6715 day/year | standar deviasi : 0.0054
Elapsed time is 14.954307 seconds.
fx >> |
```

**Gambar 4.2** LOLP penarikan acak sebanyak 500 kali



LOLP dengan monte carlo dikatakan valid apabila mempunyai grafik konvergen yang mana nilainya tidak banyak berubah. Untuk gambar hasil plot dari simulasi monte carlo dengan penarikan acak sebanyak 500 kali adalah seperti gambar 4.3 dibawah ini



**Gambar 4.3** Grafik Plot LOLP penarikan acak sebanyak 500 kali

Adapun dari grafik simulasi diambil nilai seperti tabel berikut :

**Tabel 4.3** Perbandingan sampel acak dan LOLP

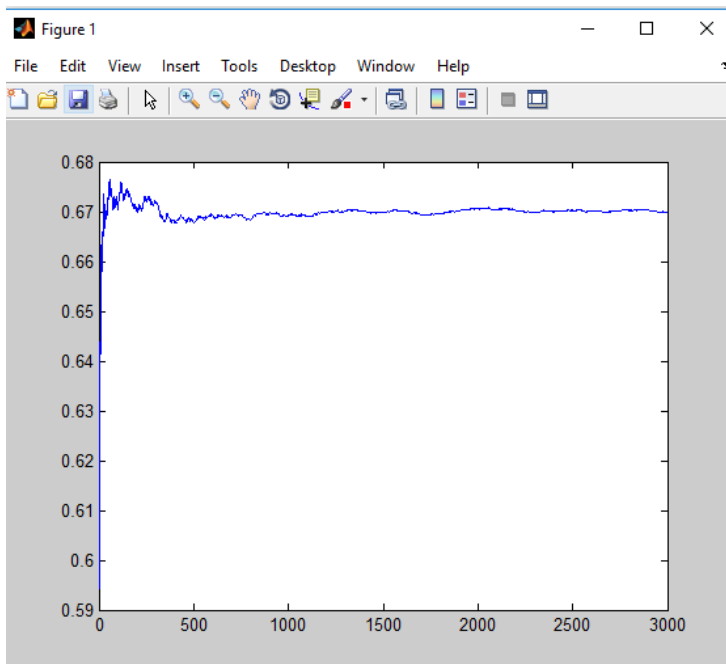
<i><b>Sampel Acak</b></i>	<i><b>LOLP</b></i>
10	0,6932
100	0,6753
200	0,6694
250	0,6701
300	0,6688
350	0,6706
400	0,6705
450	0,6714
500	0,6715

Bila digunakan penarikan acak lain seperti 3000 maka LOLP dari penarikan acak sebanyak 3000 kali seperti gambar dibawah ini

```
Command Window
Banyak Sampling = 3000.0000
LOLP Hari Per Tahun = 0.6699 day/year | standar deviasi : 0.0026
Elapsed time is 89.605313 seconds.
fx >> |
```

**Gambar 4.4** LOLP penarikan acak sebanyak 3000 kali

LOLP dengan monte carlo dikatakan valid apabila mempunyai grafik konvergen yang mana nilainya tidak banyak berubah. Untuk gambar hasil plot dari simulasi monte carlo dengan penarikan acak sebanyak 3000 kali adalah seperti gambar 4.3 dibawah ini :



**Gambar 4.5** Grafik Plot LOLP penarikan acak sebanyak 3000 kali

Adapun dari grafik simulasi diambil nilai seperti tabel berikut :  
**Tabel 4.4** Perbandingan sampel acak dan LOLP

<i><b>Sampel Acak</b></i>	<i><b>LOLP</b></i>
10	0,6453
100	0,6711
200	0,6703
500	0,6678
700	0,6691
1400	0,6700
1800	0,6698
2200	0,6702
3000	0,6699

Setelah dilakukan dua kali *running* dengan nilai pengacakan yang berbeda yaitu 500 dan 3000 didapatkan index keandalan LOLP dari sistem wilayah bali nilai yang mendekati yaitu untuk penarikan acak 500 nilai LOLP nya 0,6715 dan penarikan sebesar 3000 didapatkan nilai LOLP nya sebesar 0,6699.

Semakin banyak jumlah sample acak dapat dikatakan nilai LOLP dengan sistem monte carlo semakin valid pula. Sehingga nilai keandalan dari sistem wilayah Bali adalah 0,6699

#### **4.4 Perhitungan Keandalan wilayah Bali secara manual**

Seperti dijelaskan Loss of load terjadi hanya ketika kemampuan dari kapasitas pembangkitan terlampaui oleh tingkat beban sistem. Kurva beban puncak harian dapat digunakan bersama dengan daftar probabilitas capacity outage, untuk mendapatkan jumlah hari yang diharapkan, dimana terjadi beban puncak harian melebihi kapasitas yang tersedia. Indeks dalam hal ini didefinisikan sebagai Loss of Load Expectation.

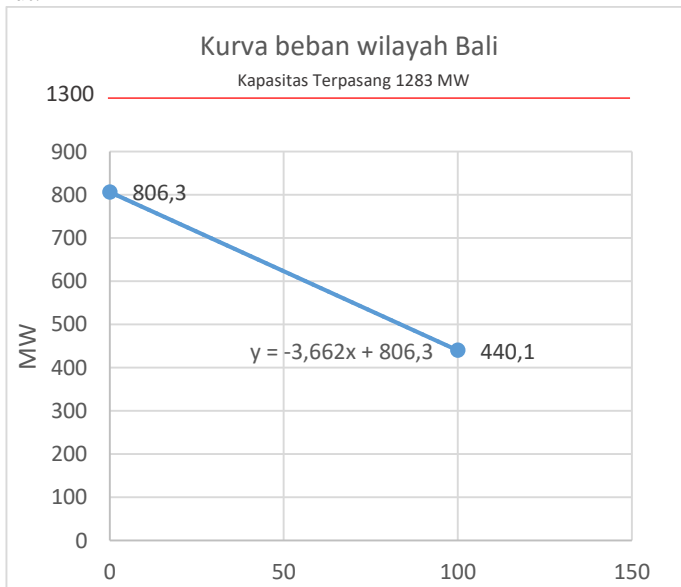
Agar perhitungan manual dapat dipermudah, Kapasitas pembangkit serta nilai *forced outage rate* dari seluruh generator yang ada di wilayah Bali digabungkan menjadi beberapa area dari beberapa unit yang masih dalam satu kawasan agar didapatkan individual probability dari setiap pembangkit per area.

Adapun untuk data sistem akan mendapatkan nilai *forced outage rate* serta kapasitas yang baru pada sistem kelistrikan wilayah Bali adalah seperti pada tabel 4.4:

**Tabel 4.5** Data sistem jenis Pembangkit berdasarkan area dan FOR baru

No	Nama Pembangkit	Kapasitas	FOR	1- FOR
1	PLTG Psgrn	111,60	0,06	0,94
2	PLTDG Psgrn	182,4	0,05	0,95
3	PLTD Psgrn	60	0,02	0,98
4	PLTG Pamaron	80	0,03	0,97
5	PLTG Gilimanuk	130	0,03	0,97
6	PLTU Celukan Bwg	380	0,07	0,93
7	Kabel Laut	340	0	1

Adapun untuk data beban untuk periode wilayah Bali dalam setahun didapatkan berdasarkan beban puncak harian. Maka didapatkan kurva beban puncak harian. Beban Puncak maksimum wilayah Bali berdasarkan data yang diperoleh adalah 806,3 MW sedangkan beban puncak minimumnya adalah 440,1 MW. Itu artinya beban puncak harian minimum adalah 54% dari beban puncak harian maksimum. Maka didapatkan Kurva beban sistem wilayah Bali seperti pada gambar 4.6 berikut:



**Gambar 4.6** Kurva Beban wilayah Bali

Persamaan garis beban puncak harian terhadap waktu kehilangan beban. Beban puncak harian adalah Y dan Waktu kehilangan beban adalah X. Maka persamaan garisnya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} &= \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \\ \frac{y - 440,1}{806,3 - 440,1} &= \frac{x - 100}{0 - 100} \\ -100(y - 440,1) &= 366,2(x - 100) \\ -100y + 44010 &= 366,2x - 36620 \\ x &= \frac{80630 - 100y}{366,2}\end{aligned}$$

Setelah mendapatkan persamaan garis dari kurva beban, total waktu dari setiap kapasitas pembangkit yang lepas adalah sebagai berikut :

- $t_1$  (Beban Puncak harian 806,1 MW)

$$t_1 = 0\%$$

- $t_2$  (Beban Puncak harian 701 MW)

$$t_2 = \frac{80630 - 100 \times 701}{366,2}$$

$$t_2 = 28,75\%$$

- $t_3$  (Beban Puncak harian 503 MW)

$$t_3 = \frac{80630 - 100 \times 503}{366,2}$$

$$t_3 = 82,82\%$$

- $t_4$  (Beban Puncak harian 210 MW)

$$t_4 = \frac{80630 - 100 \times 210}{366,2}$$

$$t_4 = 100\%$$

- $t_5$  (Beban Puncak harian 0 MW)

$$t_5 = \frac{80630 - 100 \times 0}{366,2}$$

$$t_5 = 100\%$$

Berdasarkan dari data pembangkitan dan nilai *forced outage rated* yang baru didapatkan *individual probability* dari kombinasi beberapa pembangkit yang aktif yang mana telah disesuaikan dengan kurva beban yang ada. Berikut adalah *individual Probability* serta nilai keandalan sesuai dengan beban pembangkitan pada Tabel 4.5:

**Tabel 4.5 *Individual Probability* dan LOLP**

Capacity Out Service	Capacity In Service	Individual Probability	Total Time (%)	LOLP (%)
0	806,1	0,941480149	–	–
105	701	0,057059403	28,75%	0,6404578
303,1	503	0,001440894	82,82%	0,1193348
596,1	210	0,000019405	100 %	0,0019405
806,1	0	0,000000147	100 %	0,0000147
<b>TOTAL</b>				0,7617478

Berdasarkan hasil perhitungan manual didapatkan nilai LOLP dari wilayah Bali adalah nilai keandalan adalah 0,7617478. Nilai ini berbeda 0,0918487 dari nilai keandalan dengan metode monte carlo.

#### **4.5 Cara meningkatkan Keandalan Sistem**

Berdasarkan pada dasar teori keadaan sistem dipengaruhi nilai FOR (*force outage rated*) dari masing-masing unit pembangkit dan ketersediaan cadangan daya dalam sistem. Untuk itu dijelaskan pada subbab dibawah ini :

##### **4.5.1 Memperkecil Nilai FOR Pembangkit**

Pada sistem 150 kV di Bali, ada dua pembangkit yang memiliki nilai FOR sangat tinggi, yaitu PLTG Pesanggaran unit 3 dengan nilai FOR sebesar 0,134246575, kemampuan dayanya 39,50 MW dan PLTU Celukan Bawang Unit 2 dengan nilai FOR sebesar 0,115068493 dengan kemampuan daya sebesar 125 MW.

Penyebab tingginya nilai FOR (*force outage rated*) dari kedua pembangkit adalah berikut :

1. PLTG Pesanggaran unit 3
  - Status : PO (*Planned Outage*)
  - Waktu : 7/8/2016 pukul 00.00 sampai 24/9/2016 pukul 24.00
  - Total waktu : 1176 jam
  - Alasan : PO (*Serious Inspection*)
2. PLTU Celukan Bawang Unit 2
  - a. Status : PO (*Planned Outage*)
    - Waktu : 6/3/2016 pukul 00.00 sampai 26/3/2016 pukul 24.00
    - Total waktu : 504 jam
    - Alasan : PO (*Serious Inspection*)
  - b. Status : PO (*Planned Outage*)
    - Waktu : 11/9/2016 pukul 00.00 sampai 1/10/2016 pukul 24.00
    - Total waktu : 504 jam
    - Alasan : PO (*Serious Inspection*)

Dari penyebab diatas dapat disimpulkan bahwa faktor terbesar yang mempengaruhi adalah waktu perbaikan yang panjang selama 1176 jam pada PLTG Pesanggaran unit 3. Begitu juga dengan PLTU Celukan Bawang Unit 2 mengalami waktu outage yang panjang akibat terjadi *planned outage* sehingga nilai FOR menjadi tinggi.

Solusinya adalah mempercepat waktu perbaikan untuk PLTG Pesanggaran unit 3 dan PLTU Celukan Bawang Unit 2 serta penanganan lebih cepat akibat akibat *planned outage* dan *maintenance outage* kedua pembangkit tersebut sehingga menyebabkan nilai FOR keduanya menjadi rendah dan keandalan sistem makin tinggi.

#### **4.5.2 Memperbesar Cadangan Daya**

Kapasitas total pembangkit untuk sistem 150 KV adalah 1284,00 MW. Sedangkan beban sistem tertinggi adalah 860,2 MW Pada hari Kamis 20 Oktober 2016 pada pukul 19.00. Cadangan daya yang tersedia sebesar 454,00 MW. Untuk memperbesar cadangan daya harus menambah kapasitas unit pembangkit. Untuk itu diperlukan perhitungan nilai investasi yang harus disediakan untuk membangun pembangkit baru. Penambahan pembangkit baru juga memperhatikan kurva beban sistem dan prediksi untuk beban sistem dalam beberapa tahun kedepan sehingga akan diketahui berapa kapasitas daya yang harus disediakan untuk menjamin keandalan sistem sesuai standart internasional sebesar 0,25 hari per tahun.

*Halaman ini sengaja di kosongkan*



## **BAB V**

### **PENUTUPAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil yang didapat dari perhitungan dalam penulisan tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Hasil perhitungan nilai LOLP pada sistem 150 kV di wilayah Bali sebesar 0,6699 hari per tahun. Hal ini belum dapat memenuhi standart internasional sebesar 0,25 hari per tahun tetapi telah memenuhi standart PLN 1 hari per tahun untuk sistem jamali menurut RUPTL PT. PLN 2013 -2022.
2. Faktor yang menyebabkan nilai LOLP tidak memenuhi standart internasional adalah tingginya nilai FOR pada dua pembangkit. Diantaranya PLTG Pesanggaran unit 3 dan PLTU Celukan Bawang Unit 2 karena waktu *maintenance* yang cukup lama.
3. Untuk meningkatkan keandalan sistem 150 KV di Bali dilakukan dengan cara memperkecil nilai FOR dari pembangkit yang memiliki nilai FOR paling besar dan memperbesar cadangan daya terpasang sesuai prediksi beban pada masa yang akan datang dan tetap memperhitungkan nilai investasi tersebut.
4. Hasil Perhitungan Manual keandalan wilayah bali adalah sebesar 0,7617478 yang mana memiliki perbedaan dengan metode monte carlo berbeda sebesar 0,0918487.

#### **5.2 Saran**

Saran yang diberikan untuk perbaikan tugas akhir ini adalah

1. Analisa keandalan menggunakan metoda monte carlo pada tugas akhir ini dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk prediksi keandalan di masa depan.
2. Dapat dikembangkan untuk membuat peramalan beban untuk satu tahun kedepan dengan menggunakan metode yang ada.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Marsudi, Djiteng, “Operasi Sistem Tenaga Listrik”, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2006.
- [2] Roy Billiton, Ronald N. Allan, “*Reliability Evaluation of Power System*” 1998
- [3] Rencana Pekerjaan PT PLN (Persero) APB Bali pada Tanggal 1 Januari 2016 – 31 Desember 2016.
- [4] Laporan Harian Pelaksanaan Operasi PT PLN (Persero) APB Bali pada Tanggal 1 Januari 2016 – 31 Desember 2016.
- [5] Aprinta P.P, R. Wenda, “Analisis Keandalan Sistem Interkoneksi 150 KV di Wilayah Jawa Barat Ditinjau dari Sisi Pembangkit”, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Industri : Institut Teknologi Sepuluh Nopember. 2011.
- [6] Fahmi , “Analisis Keandalan Pada Sistem 150 kV di Wilayah Jawa Tengah dan DIY Dengan Menggunakan Metode Monte Carlo”, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Industri : Institut Teknologi Sepuluh Nopember. 2011.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## Lampiran 1 *Single Line Diagram* Bali

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## Lampiran 2 Perhitungan manual *individual probability*

no	gen1	gen2	gen3	gen4	gen5	daya	gen1	gen2	gen3	gen4	gen5	indiv prob
1	0	0	0	0	0	0	0,06	0,05	0,02	0,02	0,03	0,00000003600
2	0	0	0	0	1	380	0,06	0,05	0,02	0,02	0,97	0,00000116400
3	0	0	0	1	0	210	0,06	0,05	0,02	0,98	0,03	0,00000176400
4	0	0	1	0	0	400	0,06	0,05	0,98	0,02	0,03	0,00000176400
5	0	1	0	0	0	182	0,06	0,95	0,02	0,02	0,03	0,0000068400
6	1	0	0	0	0	112	0,94	0,05	0,02	0,02	0,03	0,0000056400
7	0	0	0	1	1	590	0,06	0,05	0,02	0,98	0,97	0,00005703600
8	0	0	1	0	1	780	0,06	0,05	0,98	0,02	0,97	0,00005703600
9	0	0	1	1	0	610	0,06	0,05	0,98	0,98	0,03	0,00008643600
10	0	1	0	0	1	562	0,06	0,95	0,02	0,02	0,97	0,00002211600
11	0	1	0	1	0	392	0,06	0,95	0,02	0,98	0,03	0,00003351600
12	1	0	0	0	1	492	0,94	0,05	0,02	0,02	0,97	0,00001823600
13	1	0	0	1	0	322	0,94	0,05	0,02	0,98	0,03	0,00002763600
14	0	1	1	0	0	582	0,06	0,95	0,98	0,02	0,03	0,00003351600
15	1	0	1	0	0	512	0,94	0,05	0,98	0,02	0,03	0,00002763600
16	1	1	0	0	0	294	0,94	0,95	0,02	0,02	0,03	0,00001071600
17	0	0	1	1	1	990	0,06	0,05	0,98	0,98	0,97	0,00279476400
18	0	1	0	1	1	772	0,06	0,95	0,02	0,98	0,97	0,00108368400
19	1	0	0	1	1	701	0,94	0,05	0,02	0,98	0,97	0,00089356400
20	0	1	1	0	1	963	0,06	0,95	0,98	0,02	0,97	0,00108368400
21	0	1	1	1	0	792	0,06	0,95	0,98	0,98	0,03	0,00164228400
22	1	0	1	0	1	891	0,94	0,05	0,98	0,02	0,97	0,00089356400
23	1	0	1	1	0	721	0,94	0,05	0,98	0,98	0,03	0,00135416400
24	1	1	0	0	1	674	0,94	0,95	0,02	0,02	0,97	0,00034648400
25	1	1	0	1	0	503	0,94	0,95	0,02	0,98	0,03	0,00052508400
26	1	1	1	0	0	693	0,94	0,95	0,98	0,02	0,03	0,00052508400
27	0	1	1	1	1	1172	0,06	0,95	0,98	0,98	0,97	0,05310051600
28	1	0	1	1	1	1101	0,94	0,05	0,98	0,98	0,97	0,04378463600
29	1	1	0	1	1	883	0,94	0,95	0,02	0,98	0,97	0,01697771600
30	1	1	1	0	1	1073	0,94	0,95	0,98	0,02	0,97	0,01697771600
31	1	1	1	1	0	903	0,94	0,95	0,98	0,98	0,03	0,02572911600
32	1	1	1	1	1	1283	0,94	0,95	0,98	0,98	0,97	0,83190808400

Total  
indv  
prob            1

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## **RIWAYAT HIDUP**



Penulis bernama lengkap Rizky Oktavian. Biasa dipanggil Rizky. Lahir di Ambon pada tanggal 18 Oktober tahun 1994. Penulis memulai pendidikan di Sekolah Dasar Negeri Perak Utara I no 58 Surabaya kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 2 Surabaya dan Sekolah Menengah Atas di SMAN 8 Surabaya. Pada tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan jenjang Diploma 3 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Program Studi Komputer

Kontrol. Pada tahun 2015 penulis menyelesaikan pendidikan Diploma 3. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang Sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan Program studi Teknik Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro.

Email : [mail@rizkyoktavian.com](mailto:mail@rizkyoktavian.com)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*